昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, January 2009, 52(1): 65 – 73 ISSN 0454-6296

基于地统计学方法的稻田灰飞虱与蜘蛛时空动态分析

王 瑞, 翟保平*, 胡 高, 陈 晓, 沈慧梅
(南京农业大学昆虫系,南京 210095)

摘要: 通过田间调查,用地统计学方法对灰飞虱 *Laodelphax striatellus* (Fallén)及其重要天敌蜘蛛的时空动态进行了比较分析。通过变差函数模型的拟合及空间格局的分析,得出灰飞虱长翅成虫、若虫与蜘蛛的变程范围相近,结构性强度的范围相近,但同一时间灰飞虱与蜘蛛的变程和结构性强度则均不尽相同;灰飞虱若虫与蜘蛛自始至终为聚集分布,但灰飞虱长翅成虫与蜘蛛的分布型则有差异,在某些时间为均匀分布。用普通克立格方法作出空间分布图,在时间序列上进行比较分析,得出稻田蜘蛛与灰飞虱成若虫的空间分布均有相似性,尤其与若虫相似性更强,表现出比较明显的空间跟随现象,且空间跟随现象与灰飞虱虫量的消长有密切的关系,但是由于天气、稻田环境、灰飞虱其他天敌以及蜘蛛其他猎物的存在等因素的影响使得其空间跟随又有着相当的复杂性。

关键词: 稻田; 灰飞虱; 蜘蛛; 时空动态; 地统计学
中图分类号: Q968.2 **文献标识码**: A **文章编号**: 0454-6296(2009)01-65-09

Analysis of spatio-temporal dynamics of *Laodelphax striatellus* (Fallén) (Homoptera: Delphacidae) and spiders in paddy fields based on geostatistics

WANG Rui, ZHAI Bao-Ping*, HU Gao, CHEN Xiao, SHEN Hui-Mei (Department of Entomology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Field studies were conducted to compare the spatio-temporal dynamics of small brown planthopper (SBPH), *Laodelphax striatellus* (Fallén) and their important natual enemy spiders by using the geo-statistical methods. By fitting the models of semivariogram of them and analyzing the patterns, it was found that the nugget range of macropterous SBPH and larval SBPH were approaching to that of spiders, as well as the range of structural intensity, but the nuggets of SBPH were not approaching to that of spiders, neither the structural intensity. The spatial pattern of larval SBPH and spiders were aggregation, but that of macropterous SBPH was random sometimes. We drawn the predicted surface maps with the Ordinary Kriging method and illustrated in the time order to provide a visible presentation of the spatio-temporal distributions. By analyzing those maps, we found that the spatial distribution of spiders in the paddy field was similar to that of macropterous SBPH and larval SBPH, and was more similar to larval SBPH, and showed an obvious pursuing phenomenon between them, while the pursuing had a close relationship with the temporal dynamics of SBPH number. But the pursuing phenomenon was complex and influenced by factors such as the weather, the environmental conditions in paddy fields, other enemies of SBPH and other foods of spiders.

Key words: Paddy field; *Laodelphax striatellus*; spiders; spatio-temporal dynamics; geostatistics

蜘蛛具有全肉食性,捕食量大,生态分布广,生殖力强,寿命长等特性,对害虫的控制效果明显,是稻田害虫的主要捕食性天敌(王洪全, 1981; Riechert *et al.*, 1984; Settle *et al.*, 1996; 李剑泉等, 2001),亦是稻飞虱的重要捕食性天敌,可捕食飞虱成若虫(夏温澍, 1962; 罗观富, 1985; 谢万福等, 1992)。以往多有蜘蛛对褐飞虱 *Nilaparvata lugens* Stål. 或白背飞虱 *Sogatella furcifera* (Horvath)的捕食作用方面的研究,但专门研究蜘蛛对灰飞虱 *Laodelphasx cstriatellus* (Fallén)控制作用的报道极

作者简介: 王瑞,男,1982 年生, 山西壶关人, 硕士, 研究方向为昆虫生态学,现工作单位为江苏省洪泽湖监狱,E-mail: gede6666@sina.com.cn
* 通讯作者 Author for correspondence, Tel.: 025-84396204; E-mail: bpzhai@njau.edu.cn
收稿日期 Received: 2008-03-29; 接受日期 Accepted: 2008-12-12

少。也多有对某些稻田蜘蛛优势种或者稻田蜘蛛混合种群的空间分布格局的研究(叶正襄等, 1982;祁彪等, 1989;陈银方, 1992;宋大祥等, 1992;王智等, 2001),亦有少量对蜘蛛与飞虱的田间分布型的动态研究(孙志鸿, 1988),但是这些研究都是基于传统的空间分布型,忽略研究对象的空间位置,得到的结果很大程度上依赖于取样单位的大小,且只能概括研究对象在研究区域中的概貌,无法反映其局部的变化特征(丁岩钦, 1994)。

地统计学能有效克服传统分布型分析的局限性,最大限度地利用调查到的信息,充分利用调查得到的空间数据,有效避免系统误差,作出更为精确的估计(Liebhold *et al.*, 1993;周国法和徐汝梅, 1997;周强等, 1998;王政权, 1999)。国内外已有报道运用地统计学方法研究害虫与天敌的空间结构或空间分布,分析二者的空间相关性或空间追随性,从空间角度阐释天敌对害虫的制约作用(石根生和李典谟, 1997;耿继光等, 2002;黄保宏等, 2003;李磊等, 2004;Park and John, 2004;巫厚长等, 2004;丁程成等, 2005)。

扬州稻田中有皿蛛科、球蛛科、肖蛸科、狼蛛科、管巢蛛科、跳蛛科等科的多种蜘蛛,以皿蛛科、球蛛科、肖蛸科蜘蛛数量最多,为优势科,其中大部分为小型蜘蛛,且大部分为结网型。本文应用地统计学方法对扬州稻田灰飞虱长翅成虫、若虫与蜘蛛混合种群时间序列上的空间结构和分布情况进行比较分析,对灰飞虱与蜘蛛的时空跟随现象进行探索,为保护和利用蜘蛛,从而更有效地对灰飞虱进行综合防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 调查田块

调查水稻田位于江苏省扬州市邗江区,调查田块(50 m×105 m)种植品种为武粳 15,周围均是水稻田(图 1 中田埂以北仍是水稻田),做网格取样,共 242 个点,样点坐标精确记录,间距 5 m,每样点包括稻苗 4 株,稻株南北向成行(图 1)。调查从 2005 年 7 月 20 日到 9 月 25 日,约 5 d 1 次,共 14 次。用瓷盘拍虫法,即时记录每样点上灰飞虱成若虫和蜘蛛的数量,记录完毕后将虫拍放回原样点周围。调查期间该稻田实施常规的防治和肥水管理。

1.2 统计分析

使用 GS + 软件,对灰飞虱的若虫、长翅成虫及蜘蛛的空间分布进行地统计分析,包括空间数据的

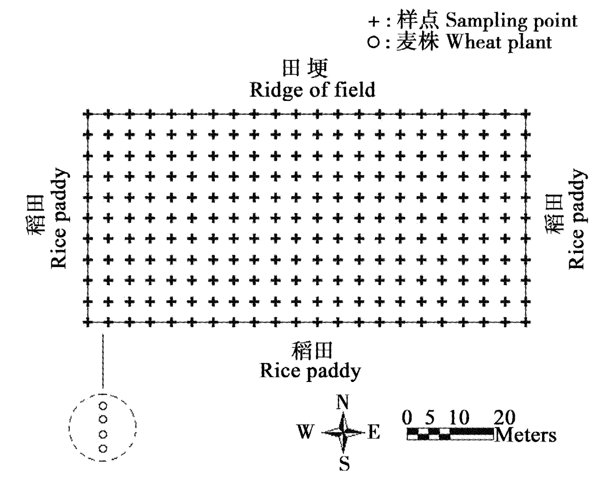


图 1 样点设置与周边环境

Fig. 1 Design of sampling points and the surroundings

探索性分析,变差函数模型的拟合,变差函数各参数的确定,克立格差值图的建立,以及交叉检验等步骤。

从插值图可以形象地看出灰飞虱长翅型成虫、灰飞虱若虫、蜘蛛的空间分布,而灰飞虱长翅型及若虫与蜘蛛在空间上的相似性用逐个样点上灰飞虱与蜘蛛虫量的 Pearson 相关系数(使用 SAS 软件进行分析计算)来量化,并暂称为空间相关系数。

2 结果与分析

2.1 灰飞虱成虫、若虫及蜘蛛的变差函数理论模型与空间分布格局

14 次调查中灰飞虱成虫、若虫及蜘蛛的变差函数理论模型及参数和空间分布型如表 1 所示,拟合较好的变差函数理论模型为指数模型、高斯模型和球状模型三种。其中灰飞虱成虫的变程为 6.24 ~ 90 m,灰飞虱若虫的变程为 7.2 ~ 95.90 m,而蜘蛛的则为 6 ~ 79.52 m,即三者的空间依赖范围均大致在田块范围之内,且相差不大。三者空间变异性变动范围分别为 0.002 ~ 1,0 ~ 0.963,0 ~ 1,随调查时间的不同而表现出较大的变化。空间格局分析则除了灰飞虱成虫有几次调查结果为均匀分布外,灰飞虱若虫及蜘蛛所有调查日均为聚集分布。可以看出虽然三者的变程、空间变异性的范围均大致重合,但是同一次调查中灰飞虱的变差函数模型及参数与蜘蛛的并不尽相同或相似;虽然蜘蛛与灰飞虱若虫空间格局相同,但与灰飞虱长翅成虫的空间格局在某些时间不同。

表 1　变差函数模型参数及空间分布型

Table 1　Parameters of semivariograms and patterns

日期 Date	类型 Class	模型 Model	块金常数 C_0	基台值 C	变程 Range	结构性强度 $(C-C_0)/C$	决定系数 r^2	分布型 Distribution
07-20	a.	Expon.	0.43	0.49	88.00	0.105	0.20	R
07-20	l.	Gauss.	25.42	31.50	95.90	0.193	0.56	A
07-20	s.	Spher.	3.23	3.24	48.00	0.000	0.14	A
07-25	a.	Spher.	0.00	0.29	7.60	1.000	0.11	R
07-25	l.	Gauss.	27.31	30.04	35.00	0.091	0.13	A
07-25	s.	Expon.	4.58	7.97	24.77	0.500	0.45	A
07-31	a.	Gauss.	0.84	0.85	30.00	0.016	0.04	A
07-31	l.	Expon.	0.67	10.99	9.00	0.939	0.20	A
07-31	s.	Spher.	0.01	7.28	9.30	0.999	0.71	A
08-05	a.	Gauss.	1.78	1.96	90.00	0.091	0.19	A
08-05	l.	Gauss.	1.19	1.19	63.28	0.000	0.32	A
08-05	s.	Expon.	0.14	3.04	6.30	0.954	0.10	A
08-10	a.	Gauss.	0.04	0.49	6.24	0.924	0.26	R
08-10	l.	Expon.	3.20	41.04	9.60	0.922	0.67	A
08-10	s.	Expon.	0.66	7.18	9.00	0.908	0.47	A
08-15	a.	Expon.	0.00	0.01	7.20	0.987	0.02	R
08-15	l.	Gauss.	12.50	109.50	7.97	0.886	0.23	A
08-15	s.	Expon.	0.03	9.81	6.00	0.997	0.03	A
08-20	a.	Gauss.	0.05	0.05	71.00	0.002	0.46	R
08-20	l.	Expon.	11.70	106.90	7.20	0.891	0.10	A
08-20	s.	Expon.	17.40	18.82	79.52	0.076	0.28	A
08-25	a.	Expon.	0.04	0.41	8.10	0.909	0.16	R
08-25	l.	Spher.	3.10	61.29	10.20	0.949	0.15	A
08-25	s.	Spher.	1.16	22.46	7.50	0.948	0.01	A
08-31	a.	Spher.	0.02	0.34	7.60	0.941	0.07	R
08-31	l.	Expon.	0.22	1.27	12.90	0.830	0.68	A
08-31	s.	Expon.	0.23	2.46	14.70	0.905	0.69	A
09-05	a.	Expon.	0.22	2.16	9.00	0.897	0.33	R
09-05	l.	Expon.	0.35	0.69	321.6	0.501	0.78	A
09-05	s.	Spher.	0.07	1.67	7.60	0.959	0.07	A
09-10	a.	Expon.	0.18	1.73	4.20	0.896	0.02	A
09-10	l.	Expon.	0.15	4.03	5.10	0.963	0.05	A
09-10	s.	Spher.	0.01	8.87	6.70	0.999	0.01	A
09-15	a.	Expon.	0.34	2.32	6.90	0.852	0.07	A
09-15	l.	Expon.	7.10	25.32	13.80	0.720	0.59	A
09-15	s.	Gauss.	1.44	10.09	5.54	0.857	0.02	A
09-20	a.	Gauss.	0.86	0.87	27.41	0.013	0.03	A
09-20	l.	Expon.	12.70	200.80	5.40	0.937	0.02	A
09-20	s.	Gauss.	39.91	50.54	92.76	0.210	0.59	A
09-25	a.	Spher.	0.07	1.31	7.50	0.944	0.10	A
09-25	l.	Expon.	193.03	198.97	3.45	0.030	0.10	A
09-25	s.	Spher.	0.01	22.60	8.00	1.000	0.15	A

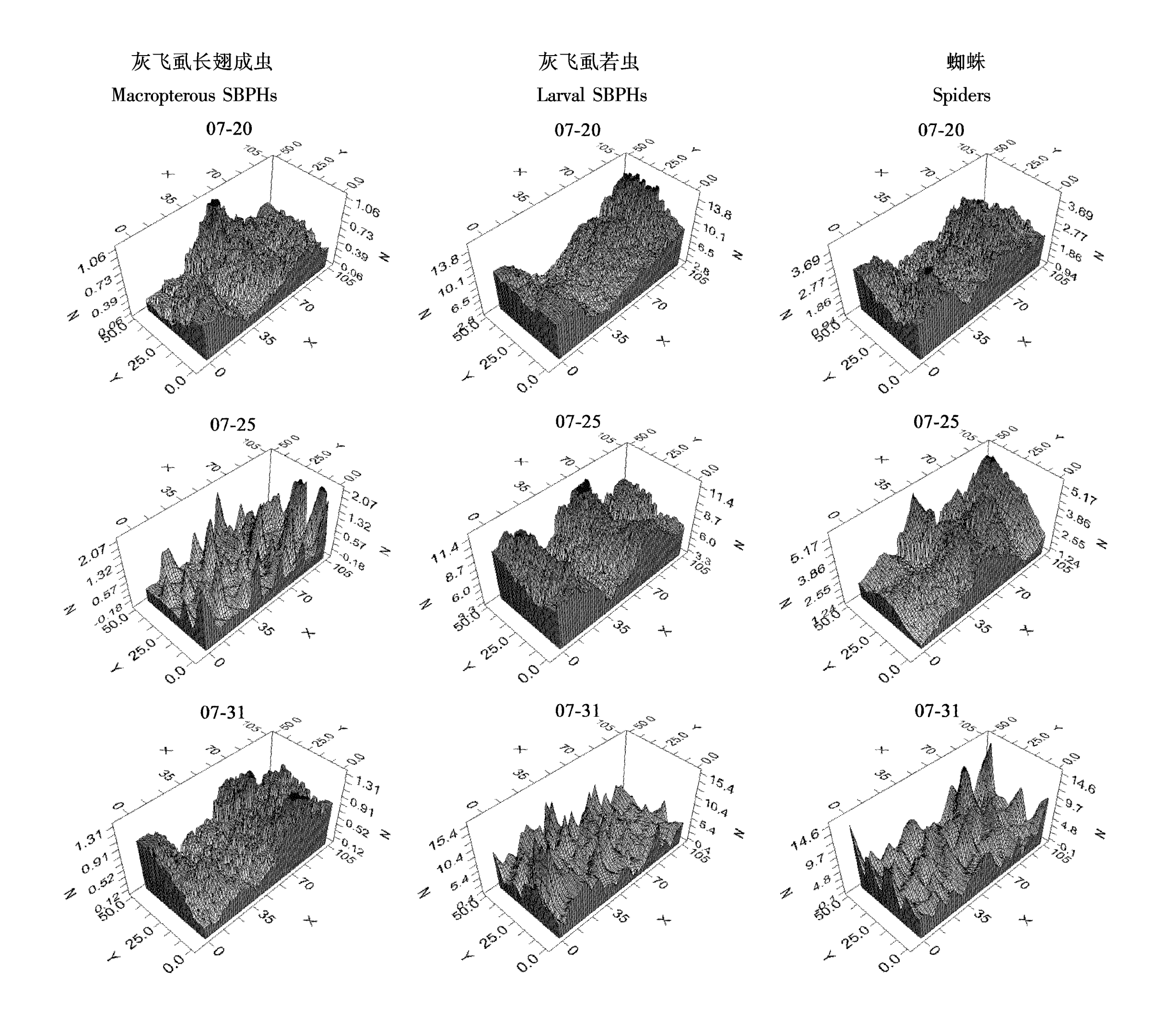
a:长翅成虫 Adults; l: 若虫 Larvae, s: 蜘蛛 Spiders; Expon.: 指数模型 Exponential model, $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \times [1 - exp(-3|h|/a)]$; Gauss.: 高斯模型 Gaussian model, $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \times [1 - exp(-3h^2/a^2)]$; Spher.: 球状模型 Spherical model, $\gamma(h) = C_0 + (C - C_0) \times [1.5 \times (|h|/a) - 0.5 \times (|h|/a)^3]$; R: 均匀分布 Uniformity; A: 聚集分布 Aggregation.

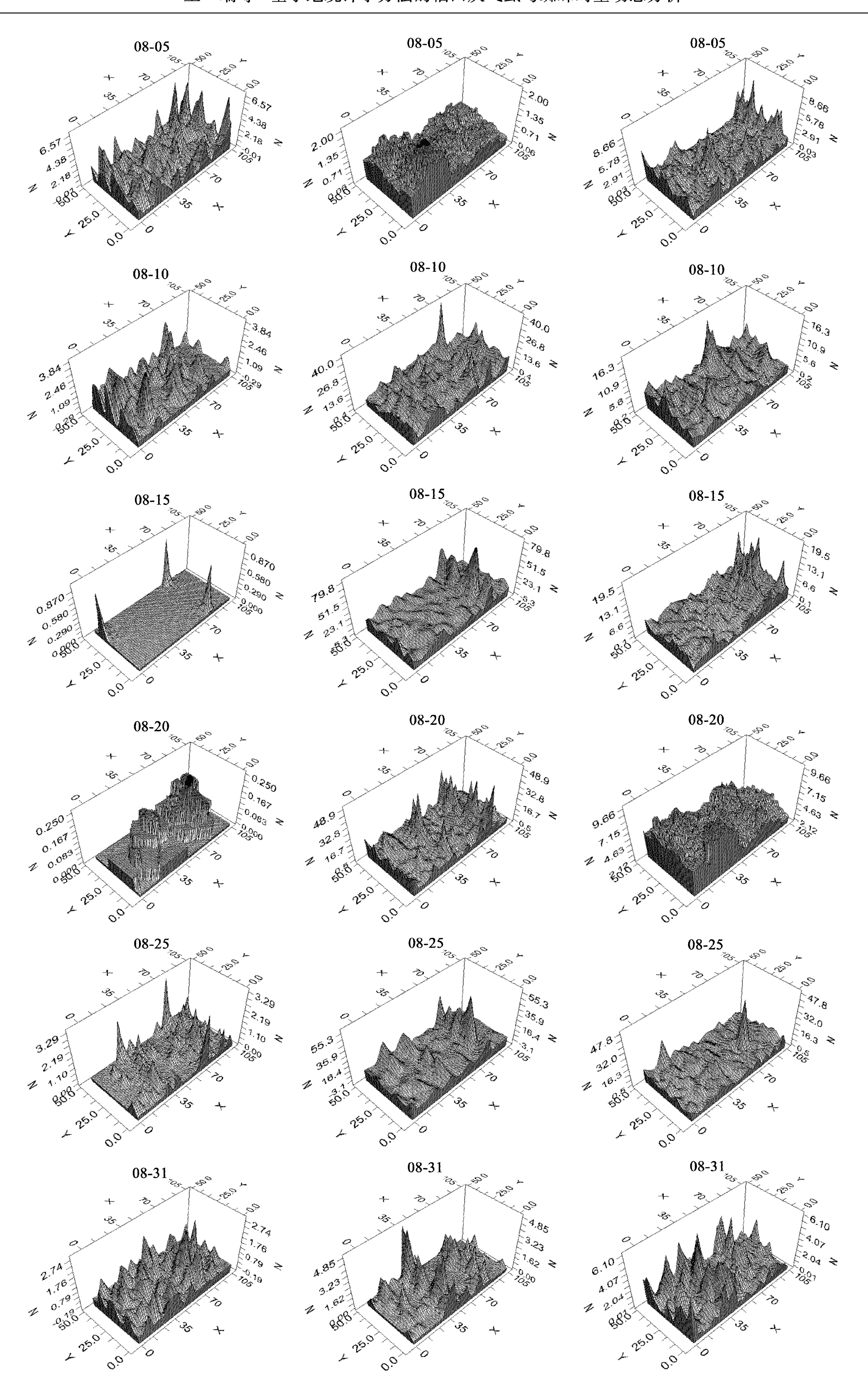
2.2 灰飞虱成若虫与蜘蛛空间分布的时间动态

将三者的克立格差值图按照时间顺序排列起来进行对照分析(图2),可以直观发现,蜘蛛的空间分布与灰飞虱长翅型成虫、若虫的空间分布在某些调查日里有相似性,而其中蜘蛛与灰飞虱若虫空间分布上相似的调查日较多,相似性也较强;蜘蛛与灰飞虱长翅型成虫空间分布相似的调查日则相对较少,相似性也较差。蜘蛛与这二者的空间相关系数,即逐个样点上虫量的 Pearson 相关系数将其空间相似性定量表示,从该相关系数随时间变化图(图3)上也可以得出同样的结论。这说明蜘蛛与灰飞虱成若虫的空间分布均具有不同程度的重合性。

从三者密度的时间动态图(图4)中可以发现,蜘蛛与灰飞虱若虫的数量消长趋势相同,而与灰飞虱成虫的消长趋势则正好相反,即灰飞虱若虫和蜘蛛的虫量高峰期和低谷期相同或相近,这二者的高峰期和低谷期与灰飞虱成虫虫量的低谷期和高峰期相对应。

进一步分析蜘蛛与灰飞虱的空间分布相似性与其时间上的数量消长的关系(图3,图4),蜘蛛与灰飞虱若虫存在空间相似性的日期分别为07-31,08-05,08-15,08-20,08-25,08-31,09-05,09-15 和09-25,这些日期中除了09-15 是虫量增长期之外,其他均处于虫量稳定期或者下降期。蜘蛛与灰飞虱长翅成虫存在相关性的日期 08-05,08-10,08-25,09-20 和09-25,除了虫量稳定期或者下降期(08-10 和 09-20),还有虫量的增长期(08-05,08-25 和 09-25)。由于若虫量的增长是由于卵的孵化造成,而蜘蛛对刚孵化出来的若虫的追捕需要一定的时间,降低了蜘蛛与灰飞虱若虫的空间相似性。而成虫量的增加则是由原来的高龄若虫羽化而来,之前蜘蛛与其已经有一定的空间跟随,所以,蜘蛛与灰飞虱长翅成虫存在相关性的日期就比较特别,既有虫量稳定期和下降期,又有虫量增长期。




08-05
08-05
08-05
08-10
08-10
08-10
08-15
08-15
08-15
08-20
08-20
08-20
08-25
08-25
08-25
08-31
08-31
08-31

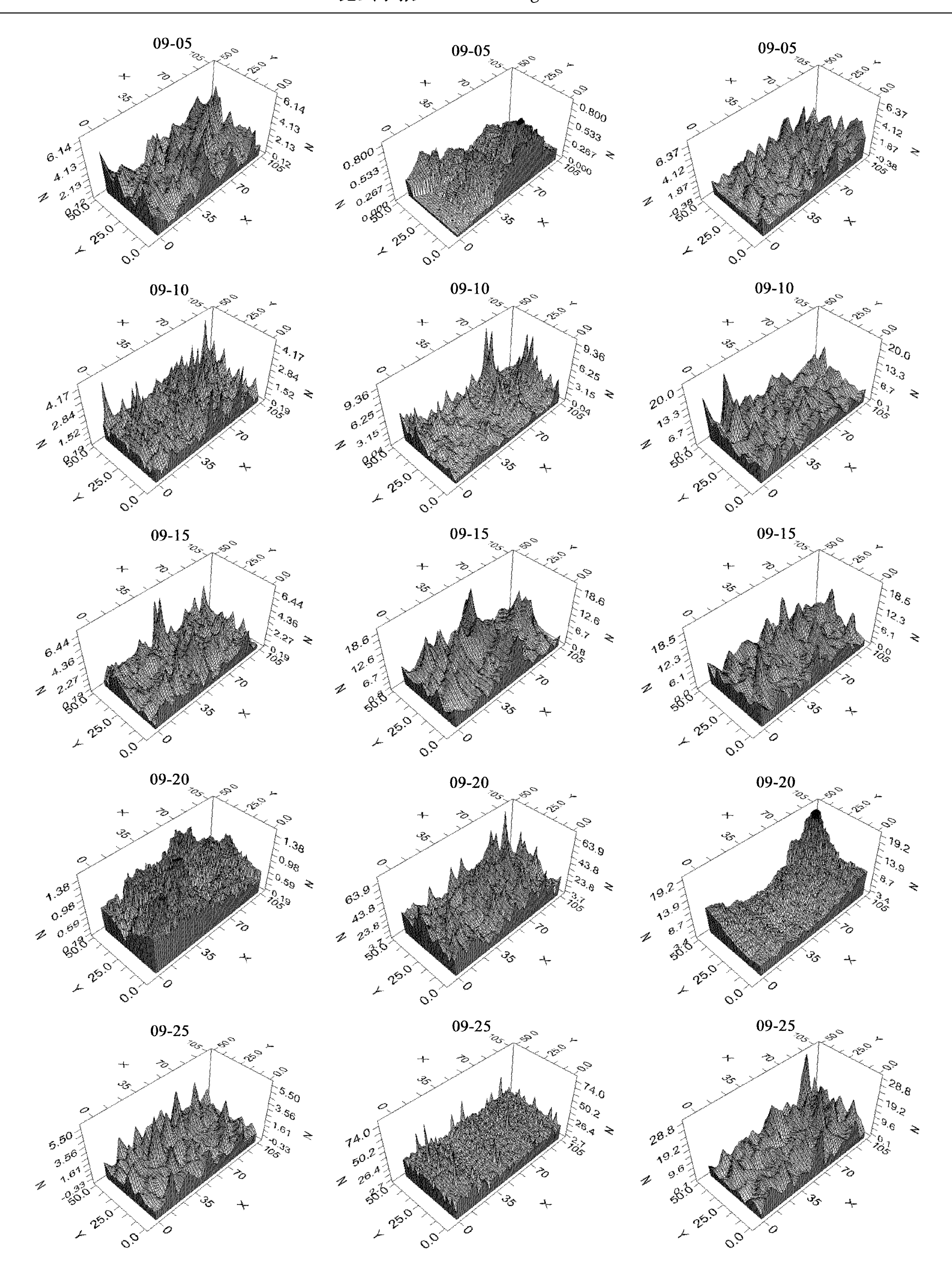


图 2　灰飞虱与蜘蛛空间分布动态

Fig. 2　Dynamics of spatial distribution of SBPHs and spiders

X 表示东西方向坐标轴，Y 表示南北方向坐标轴，N 表示虫口密度。X indicates the coordinate of east-west, Y indicates the coordinate of south-north, while N indicates densities of SBPHs or spiders.

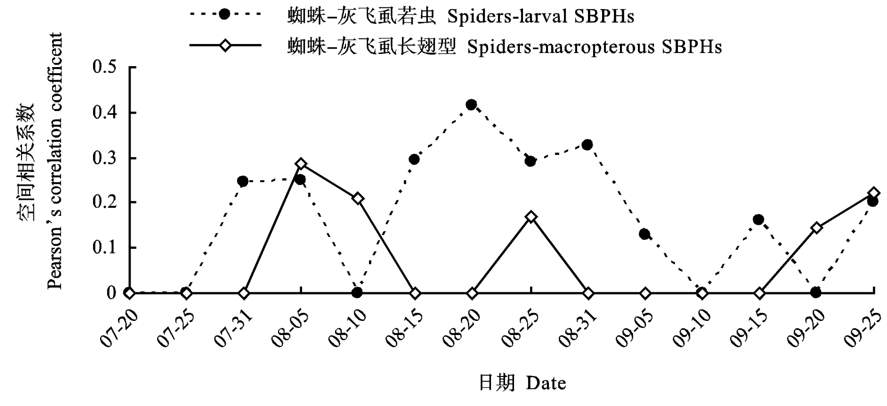


图 3　空间相关系数时间变化

Fig. 3　Temporal dynamics of Pearson's correlation coefficent

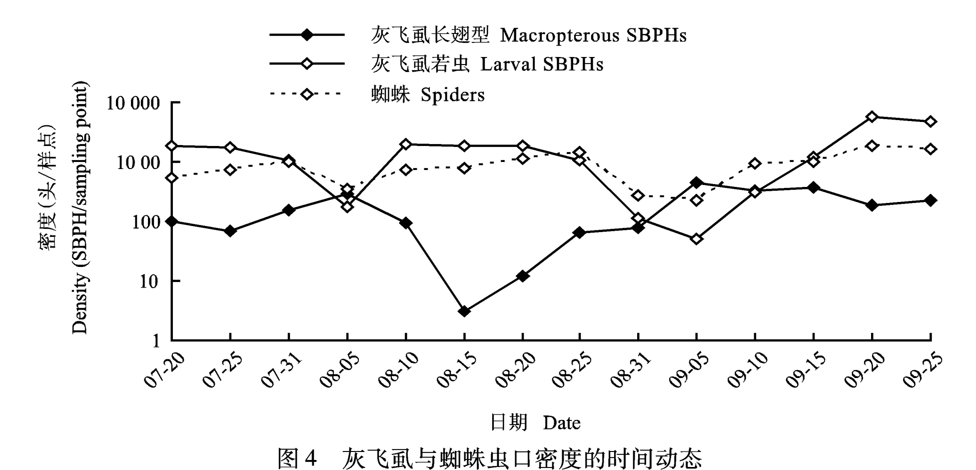


图 4　灰飞虱与蜘蛛虫口密度的时间动态

Fig. 4　Temporal dynamics of densities of SBPHs and spiders

3　结论与讨论

调查期间蜘蛛与灰飞虱若虫的空间分布型均为聚集分布,而灰飞虱长翅成虫在虫量较少时表现为均匀分布。以往有研究结果认为蜘蛛混合种群为四处搜寻猎物而呈现泊松分布(祁彪等, 1989),也有研究得出其有均匀、随机、聚集 3 种分布,与其密度及猎物分布型有关系(孙志鸿, 1988),还有对于优势种蜘蛛的研究得出某些种类为聚集分布,某些为均匀分布 (叶正襄等, 1982;陈银方, 1992)。本文则认为蜘蛛混合种群由于对灰飞虱特别是行动能力较弱的若虫的追随作用而呈与其相同的聚集分布,这也与报道的其他害虫与天敌的空间分布型研究结果相同(耿继光等, 2002;黄保宏等, 2003;李磊等, 2004;巫厚长等, 2004)。对于地统计分析结果,以往类似的研究中既有报道同一时期害虫与天敌拟合的变差函数模型相同(耿继光等, 2002;黄保宏等, 2003;李磊等, 2004;巫厚长等, 2004),也有报道其并不一定相同(Park and John, 2004),本结果属于后一种情况,变程和结构性强度也是如此。对此应这样理解,无论是结网型还是游猎型的蜘蛛,对灰飞虱的捕食都需要一定的反应时间,即蜘蛛混合种群与灰飞虱种群之间存在着的是动态的跟随现象,它们的变程和结构性强度在一段时期内的变动范围大致相同,说明了存在着跟随现象,但同一时间里却不尽相同则说明了跟随现象的动态性。

调查田块中蜘蛛与灰飞虱若虫的虫量消长趋势相同,与长翅成虫虫量消长趋势相反。一方面是由于成虫与若虫的数量必然是此消彼长,而若虫数量远大于成虫数量,故蜘蛛的数量必然跟随于数量较多的若虫,另一方面也由于长翅成虫的活动能力强于若虫,而若虫的空间分布相对稳定,使得蜘蛛对若虫的捕食作用强于对长翅成虫。但是由于稻田环境、天气因素、农药施用、灰飞虱的其他天敌的存在以及蜘蛛的其他猎物的存在等等因素,使得蜘蛛与灰飞虱成若虫虽然有一定的时空跟随性,但时空分布并不完全同步,而是表现出相当的复杂性。国外

关于蚜虫和瓢虫的时空分布研究也得出相似的结果,即害虫和天敌在时间上的同步性并不能保证整个生长期内它们空间分布上的一致性(Park and John, 2004)。

本研究结果充分说明了蜘蛛混合种群对灰飞虱种群在数量及空间位置上具有较强的追随关系,从时空分布的宏观角度进一步表明稻田蜘蛛是灰飞虱的优势天敌类群。

本研究配合使用了空间格局分析与地统计分析,其结果不仅印证了地统计方法相对于传统分布型分析方法的优势性(丁岩钦,1994;周国法等,1997;周强等,1998;王政权,1999),而且表明在时间序列上对若干种群进行地统计分析,有可能得到种群消长、捕食与竞争、扩散迁移等行为的空间表现数据,有利于深入了解种群时空变化的机理,在实践中指导对天敌的保护利用和对害虫的综合防治。将时间序列分析、相关性分析、不同空间环境对照分析、不同生物种群比较分析等等与地统计相结合的方法,必将在昆虫空间生态学的研究中发挥更大的作用。

参 考 文 献(References)

Chen YF, 1992. Primary study on the spatial distribution pattern of *Pirata* in rice field. *Chin. J. Zool.*, 27 (1): 36 - 37. [陈银方, 1992. 稻田水狼蛛空间分布型研究初报. 动物学杂志,27 (1): 36 - 37]

Ding CC, Zou YD, Bi SD, Gao CQ, Liu XL, Cao CW, Meng QL, Li CG, 2005. Geostatistics analysis on spatial patterns of *Myzus persicae* and *Erigonidium graminicola* in plum orchard. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 16 (7): 1 308 - 1 312. [丁程成,邹运鼎,毕守东,高彩球,刘小林,曹传旺,孟庆雷,李昌根,2005. 李园桃蚜和草间小黑蛛种群空间格局的地学统计学研究. 应用生态学报,16 (7): 1 308 - 1 312]

Ding YQ, 1994. Insect Mathematic Ecology. Science Press, Beijing. [丁岩钦,1994. 昆虫数学生态学. 北京:科学出版社]

Geng JG, Zou YD, Bi SD, Wang XS, Li GT, Meng QL, Shen Y, 2002. Geostatiscal analysis on spatial patterns of *Schizaphis granarium* and *Aphidius* sp. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 13(10): 1 307 - 1 310. [耿继光,邹运鼎,毕守东,王祥胜,李桂亭,孟庆雷,沈阳,2002. 地理统计学表达的麦二叉蚜及蚜茧蜂空间格局特征. 应用生态学报,13(10): 1 307 - 1 310]

Huang BH, Zou YD, Bi SD, Zhu HW, Gao ZL, 2003. Geostatistical analysis on spatial patterns of *Didesmococcus koreanus* Borchs and *Chilocorus rubidus* Hope. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 14(3): 413 - 417. [黄保宏,邹运鼎,毕守东,朱宏伟,高正良,2003. 朝鲜球坚蚧及黑缘红瓢虫空间格局的地统计学研究. 应用生态学报,14(3): 413 - 417]

Li JQ, Zhao ZM, Hou JJ, 2001. Advances in the studies of spiders in rice field. *Acta Arachnol. Sin.*, 10(2): 58 - 63. [李剑泉,赵志模,侯建筠,2001. 稻田蜘蛛研究进展. 蛛形学报,10(2): 58 - 63]

Liebhold AM, Rossi RE, Kem PWP, 1993. Geostatistics and geographic information systems in applied insect ecology. *Annu. Rev. Entomol.*, 38: 303 - 327.

Li L, Zou YD, Bi SD, Gao CQ, Ding CC, Meng QL, Li CG, Zhou XZ, 2004. Geostatistic analysis on spatial patterns of *Aphis gossypii* and *Erigonidium graminicola*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 15(6): 1 043 - 1 046. [李磊,邹运鼎,毕守东,高彩球,丁程成,孟庆雷,李昌根,周夏芝,2004. 棉蚜和草间小黑蛛种群空间格局的地统计学研究. 应用生态学报,15(6): 1 043 - 1 046]

Luo GF, 1985. The growth and decline of rice planthopper in rice fields and the correlation between natural enemies and rice planthoppers. *Entomol. Knowl.*, 22(3): 101 - 104. [罗观富,1985. 稻飞虱的田间消长及其与天敌的相关分析. 昆虫知识,22(3): 101 - 104]

Park YL, John JO, 2004. Spatio-temporal distribution of corn leaf aphids (Homoptera: Aphididae) and lady beetles (Coleoptera: Coccinellidae) in Iowa cornfields. *Biol. Control*, 31 (2): 210 - 217.

Qi B, Wang DM, Xu ZJ, Qin SM, 1989. Preliminary study on the spatial distribution patterns of spider dominant species in rice fields. *Nat. Enem. Insects*, 11(1): 20 - 27. [祁彪,王东明,徐宗敬,秦守明,1989. 稻田蜘蛛优势种田间分布型的初步研究. 昆虫天敌,11(1): 20 - 27]

Riechert SE, Lockley T, 1984. Spiders as biological control agents. *Ann. Rev. Entomol.*, 29: 299 - 320.

Settle WH, Endah HA, Astuti T, 1996. Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecol.*, 77 (7): 1 975 - 1 988.

Shi GS, Li DM, 1997. Spatial distribution of masson-pine caterpillar pupae and its parasitic natural enemy guilds for the overwintering generation in the different pine forests. *Acta Ecol. Sin.*, 17(4): 386 - 392. [石根生,李典谟,1997. 不同松林马尾松毛虫蛹及其寄生天敌群子的空间格局分析. 生态学报,17(4): 386 - 392]

Song DX, Yan HM, Zhu MS, 1992. On the structure and diversity of spider communities in Mount Fanjing Guizhou province and Zhangjiajie area, Hunan province, China. *Acta Arachnol. Sin.*, 1 (1): 46 - 57. [宋大祥,颜亨梅,朱明生,1992. 梵净山和张家界地区蜘蛛群落结构及多样性研究. 蛛形学报,1(1): 46 - 57]

Sun ZH, 1988. Studies on the spatial distributions of spiders and planthoppers in rice fields. *Nat. Enem. Insects*, 10(2): 88 - 90. [孙志鸿,1988. 稻田蜘蛛和稻飞虱田间分布型研究. 昆虫天敌,10(2): 88 - 90]

Wang HQ, 1981. Protection and Utilization of Spiders in Rice Fields. Hunan Science and Technology Press, Changsha. [王洪全,1981. 稻田蜘蛛的保护利用. 长沙:湖南科学技术出版社]

Wang Z, Yan HM, Wang HQ, 2001. Studies on the dynamics of spatial distribution of mixed spider populations in rice fields. *Plant*

Protection, 27(6): 9–11. [王智,颜亨梅,王洪全,2001. 稻田蜘蛛混合种群空间分布的动态研究. 植物保护,27(6): 9–11]

Wang ZQ, 1999. Geostatistics and Its Application in Ecology. Science Press, Beijing. [王政权,1999. 地统计学及在生态学中的应用. 北京:科学出版社]

Wu HC, Xu GS, Fang MH, Cheng XN, Zou YD, 2004. Spatial structure of populations *Myzus persicae* and its predatory natural enemy *Erigonidium graminicola*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 15(6): 1 039–1 042. [巫厚长,徐光曙,房明惠,程遐年,邹运鼎,2004. 烟蚜及其捕食性天敌草间小黑蛛种群空间结构分析. 应用生态学报, 15(6): 1 039–1 042]

Xia WS, 1962. A preliminary study on *Delphacodes striatella* Fallén in the vicinity of Wuchang. *Acta Entomol. Sin.*, 11 (2): 105–117. [夏温澍,1962. 武昌灰稻虱的初步研究. 昆虫学报,11 (2): 105–117]

Xie WF, Liu WZ, 1992. The control function of spiders to rice planthoppers in southern area of Hunan province. *Entomol. Knowl.*, 29 (6): 325–328. [谢万福,刘文周,1992. 湘南地区稻田蜘蛛对飞虱的控制作用. 昆虫知识,29 (6): 325–328]

Ye ZX, Wang DD, Xiao HN, 1982. The spatial pattern of *Micryphantidae* in the rice field and its application. *Nat. Enem. Insects*, 4(4): 24–29. [叶正襄,汪笃栋,肖厚年,1982. 稻田微蛛空间分布型及其应用. 昆虫天敌,4(4): 24–29]

Zhou GF, Xu RM, 1997. Biogeostatistics: Methodology and Application of Spatial Analysis of Biology Species. Science Press, Beijing. [周国法,徐汝梅,1997. 生物地理统计学:生物种群时空分析的方法及其应用. 北京:科学出版社]

Zhou Q, Zhang RJ, Gu DX, 1998. Review of geostatistics applied in insect population spatial structure. *Zool. Res.*, 19(6): 482–488. [周强,张润杰,古德祥,1998. 地质统计学在昆虫种群空间结构研究中的应用概述. 动物学研究,19(6): 482–488]

(责任编辑:袁德成)